

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22560062

研究課題名（和文） 安定したパラメータ同定解析手法の構築に関する基礎的研究

研究課題名（英文） Basic research about the construction of the stable parameter identification method

研究代表者

大上 俊之（OHKAMI TOSHIYUKI）

信州大学・工学部・教授

研究者番号：80152057

研究成果の概要（和文）：

本研究は、観測された変位・応力等の値から非均質場の弾性材料、摂理等の不連続面の発達した岩盤を対象とした不連続性材料、およびクリープ等に見られる時間依存性を示す材料の物性値を逆に推定するパラメータ同定解析に離散値系ウェーブレット変換の特性の応用を試みたものである。ウェーブレット変換を導入した同定解析の定式化を行い、導出した理論をもとに数値解析プログラムを開発し、種々の数値シミュレーションを通して本手法がパラメータ同定解析の有力な1手法となり得ることを示した。

研究成果の概要（英文）：

This research presents an identification method for material parameters using observational boundary conditions and discrete wavelet analysis. The proposed method is applied to the linear elastic problem for inhomogeneous materials, the viscoelastic problem for time-dependent materials, and the damage mechanics problem for discontinuous rock mass. The numerical tests reveal that the parameter identification method using the wavelet transform is effective and this scheme may be applicable to the various inverse problems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎，工学基礎

キーワード：シミュレーション工学，逆解析，パラメータ同定

## 1. 研究開始当初の背景

人文科学から理工学の様々な分野が何らかの形で逆問題と関連しており、工学においては、非破壊検査、材料物性値やシステムの同定、最適設計、パターン認識など多くの問題が逆問題的な取り扱いを必要としている。

さらに、地下資源探査、考古学調査、地殻構造や地震源の推定など様々な分野間に逆問題のテーマが広がっており、特に近年、環境問題、環境予測に関連して逆問題的解析手法の開発の重要性がますます高まっている。

このように逆問題は学際的であることか

ら、ある研究分野で開発された解析手法が別の分野の逆問題解析でも有効に用いられることが多い。現在、逆問題解析において逆問題の持つ不適切性をどう取り扱うかが重要なテーマの1つとなっている。

申請者も、ここ数年、材料物性値の同定に関する研究を精力的に行っており、その結果、逆問題が有する不適切性に対するさらなる検討、安定した逆解析手法の構築が重要な課題となっていることが判明した。

これに対し、逆問題のシステム方程式に対して、ノイズ検出・データ圧縮特性を有する離散値系ウェーブレット変換を施すことによって、より効率的なパラメータ同定が可能ではないかと考えたのが本研究の着想に至った経緯である。

国内外を問わず、逆解析アルゴリズムに関する研究は数多く行われているが、ウェーブレット変換の特性を利用したものはほとんどない。申請者の知る限り、磁界系分野において、パラメータ同定解析について Doi *et al.* (Wavelet solution of the inverse source problems, *IEEE Transactions on Magnetics*, 33 No.2, 1935-1938, 1997) の研究が見られる程度である。不連続性物体、時間依存性を有する材料をも対象とした複雑な問題に対して不適切性に焦点を絞った逆解析に関する研究は他には見当たらず、独自なものである。

## 2. 研究の目的

本研究は、パラメータ同定問題を対象として逆問題の不適切性について検討を行うもので、具体的には、観測された変位・応力等の値から非均質場の弾性材料、岩盤等の不連続性を有する材料の不連続特性、およびクリープ等に見られる時間依存性を示す材料の物性値を逆に推定するパラメータ同定解析に離散値系ウェーブレット変換の特性の応用を試みるものである。ウェーブレット変換を導入した同定解析の定式化を行い、安定かつ効率的な逆解析手法を開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は理論的考察と数値実験による提案手法の検証・解析システムの開発からなり、対象とする材料パラメータにより弾性材料、不連続性材料および時間依存性を有する粘弾性材料のパラメータ同定解析とに分けることができる。

研究方法は以下の通りである。

(平成 22 年度)

弾性問題を対象にウェーブレット変換を用いた逆解析アルゴリズムの開発と手法の有効性について基礎的検討を行った。

1) 逆問題のシステム方程式に対してウェー

レット変換を施し、不均質弾性材料をパラメータとした近似逆行列を導出する理論定式化を行う。システム方程式の被積分関数には未知パラメータに関する導関数項が含まれており、他の手法ではこれを数値積分によって評価するのが一般的であるが、本研究の観測条件を導入する解析手法では陽な形で表現できるので精度が高く、取り扱いが容易である。これにより材料パラメータ同定のための基礎方程式の一般形を得た。

2) 基礎方程式のシステム行列にウェーブレット変換を適用し、ウェーブレットスペクトラムの卓越する支配的要素だけを用いてシステム行列の近似逆行列を求める方法について定式化を行った。

3) ウェーブレット変換には Harr ウェーブレット、コフマン、フレンチハット、Daubechies ウェーブレット等、各種マザーウェーブレットを適用し、離散化するまでのスキームを開発した。

4) 導出した理論をもとに数値解析プログラムを開発し、基礎的な数値シミュレーションにより理論の有効性を検証した。

5) 開発した数値解析プログラムを用いて各マザーウェーブレットの次数、未知変数と観測点数、観測点の位置をパラメータとして逆解析の計算を行い、各種マザーウェーブレットの特徴・有効性、最適なデータ圧縮率・観測点配置ならびに不適切性について数値的に詳細に検討した。

6) 材料パラメータ同定解析については多くの検討がなされている。本手法の特徴を明確にするために、基礎的検討に加えていくつかの例題を他の手法で解き、得られた解の精度や計算効率について比較検討を行った。

(平成 23 年度)

摂理等の不連続面の発達した岩盤を対象とした不連続性材料のパラメータ同定解析へ拡張した。

1) 岩盤内に地下発電所、トンネル等の地下空洞を設計・施工する場合の変形予測に損傷力学を適用し、損傷テンソルを施工時の変位計測結果から同定する逆解析手法の定式化を行った。

2) 導出した理論に基づき数値解析用のプログラムを開発し、数値実験により不連続性材料を対象とした場合の逆解析の特徴、提案手法の有効性を詳細に検討した。

(平成 24 年度)

時間依存性を示す材料のパラメータ同定解析へ拡張した。代表的な2種類のアルゴリズムについて提案手法を適用し検討を行った。

1) 時間依存性を示す材料として一般化 Maxwell モデルを対象とした粘弾性問題とし、構成方程式を時間に対する増分形で表現する増分理論、ならびに Laplace 変換を利用

した弾性-粘弾性の対応原理に立脚した解析に基づいて定式化した。

2) 導出した理論に基づき数値解析用のプログラムを開発し、数値実験により提案手法の有効性ならびに両手法の比較検討を行った。

#### 4. 研究成果

(平成 22 年度)

主に弾性問題ならびに不連続材料を対象にウェーブレット変換を用いた逆解析アルゴリズムの開発と手法の有効性について基礎的検討を行った。

1) 逆問題のシステム方程式に対してウェーブレット変換を施し、未知物性値をパラメータとした近似逆行列を導出する理論定式化を行い、導出した理論をもとに数値解析プログラムを開発し、基礎的な数値シミュレーションにより理論の有効性を検証した。

2) ウェーブレット変換を適用することにより弾性問題、不連続材料ともに未知パラメータの数  $m$  と観測データの数  $n$  が等しい  $n = m$  の場合、および  $n > m$  の場合には、精度良い同定解が効率よく得られること、また、不適切な  $n < m$  の場合でも近似同定解が得られることが確認できた。

3) 種々の数値計算の結果、低次よりも高次のウェーブレット基底関数を用いる方が安定して解が得られること、ウェーブレット変換の圧縮率は小さい方が精度良い同定値が得られることが判明した。

(平成 23 年度)

不連続材料、時間依存性材料の同定解析へ理論を拡張し、提案手法の有効性について基礎的検討を行った。

1) 摂理等の不連続面の発達した岩盤を対象とした不連続性材料の変形予測に損傷力学を適用し、損傷テンソルを施工時の変位計測結果から同定する逆解析手法の定式化を行った。

2) 逆問題のシステム方程式に対してウェーブレット変換を施し、損傷テンソルをパラメータとした近似逆行列を導出する理論定式化を行い、導出した理論をもとに数値解析プログラムを開発し、基礎的な数値シミュレーションにより理論の有効性を検証した。

3) ウェーブレット変換を適用することにより未知パラメータの数  $m$  と観測データの数  $n$  が等しい  $n = m$  の場合、および  $n > m$  の場合には、精度良い同定解が効率よく得られること、また、不適切な  $n < m$  の場合でも近似同定解が得られることが確認できた。

4) 種々の数値計算の結果、低次よりも高次のウェーブレット基底関数を用いる方が安定して解が得られること、ウェーブレット変換の圧縮率は小さい方が精度良い同定値が得られること、低次の基底関数を用いる場合、圧縮

率の設定が困難であるが判明した。

5) 時間依存性を示す問題として材料を一般化 Maxwell モデルでモデル化した粘弾性問題とし、構成方程式を時間に対する増分形で表現する増分理論に立脚した解析に基づいて同定問題の定式化を行った。

(平成 24 年度)

時間依存性材料の同定解析へ理論を拡張し、提案手法の有効性について基礎的検討を行った。

1) 時間依存性を示す問題として材料を一般化 Maxwell モデルでモデル化した粘弾性問題とし、Laplace 変換を利用した弾性-粘弾性の対応原理に立脚した解析に基づいて同定問題の定式化を行った。

2) 導出した理論に基づき数値解析用のプログラムを開発し、数値実験により提案手法の有効性を確認した。

3) 線形粘弾性地山の斜面問題を対象として観測変位値から逆に材料パラメータを推定する同定計算の結果、高次の基底関数を用いる場合は圧縮を行わなくても精度良く同定できるが、低次の基底関数を用いる場合は圧縮を行う必要があること、ラプラス変換パラメータの選択方法については、選択するラプラス変換パラメータの個数はあまり計算精度に影響がなく、ラプラス像空間での観測値の変化が大きい範囲でパラメータを選択することが計算上重要であることが判明した。

4) ウェーブレット変換による方法と最小二乗法に基づく同定解析手法の比較を行った結果、ウェーブレット変換を用いる方が精度良い同定値が得られ、本手法が粘弾性材料のパラメータ同定解析の一手法となり得ることが示された。

以上のように、種々のパラメータ同定解析に離散値系ウェーブレット変換を適用することの有効性が示された。このことより、様々な分野における逆問題に対しても、ウェーブレット変換の特性を応用することによって効果的な解析手法が構築できるものと期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① T. Ohkami, S. Matsuura, S. Koyama (The Elastic-Viscoelastic Correspondence Principle and Parameter Identification), Proc. the 11th Int. Conf. on Computational Structures Technology, Vol. 11, Paper 262, pp1-9, 2012, 査読有  
DOI:10.4203/ccp.99.262

② T. Ohkami, S. Maruden, S. Koyama (Identification of Damage Parameters for

Discontinuous Rock Mass), Int. J. for Numerical Methods in Biomedical Engineering, Vol.27, pp1280-1295, 2011, 査読有

DOI:10.1002/cnm.1358

③ T. Ohkami, S. Matsuura, S. Koyama (Inverse Analysis of Identifying Viscoelastic Material Parameters), Proc. the 9th Int. Conf. on Advances and Trends in Engineering Materials and their Applications, Vol.27, pp85-92, 2011, 査読有

ISBN 978-0-9866504-7-5

④ T. Ohkami, S. Koyama (Parameter Identification using Discrete Wavelet Transform), Proc. the 10th Int. Conf. on Computational Structures Technology, Paper 46, pp1-19, 2010, 査読有

DOI:10.4203/ccp.93.46

〔学会発表〕(計3件)

① 松浦真也, 大上俊之, 小山茂 (粘弾性材料のパラメータ同定解析), H24年度土木学会中部支部研究発表会, 2013.3.8, 豊田市

② 松浦真也, 大上俊之, 小山茂 (対応原理を用いた粘弾性体同定解析へのWavelet変換の適用), H23年度土木学会中部支部研究発表会, 2012.3.8, 長野市

③ 松浦真也, 大上俊之, 小山茂 (Wavelet変換の粘弾性体同定解析への適用), H22年度土木学会中部支部研究発表会, 2011.3.4, 春日井市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大上 俊之 (OHKAMI TOSHIYUKI)

信州大学・工学部・教授

研究者番号: 80152057